



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 195 10 484 A 1

51 Int. Cl.⁸:
G 01 F 23/284
G 01 S 7/03
H 01 Q 13/20

21 Aktenzeichen: 185 10 484.6
22 Anmeldetag: 27. 3. 95
43 Offenlegungstag: 2. 10. 98

DE 195 10 484 A 1

71 Anmelder:

Krohne Meßtechnik GmbH & Co KG, 47058 Duisburg,
DE

74 Vertreter:

Patentanwältin Gasthuysen, von Rohr, Weidener,
45128 Essen

72 Erfinder:

Brumbi, Detlef, Dr., 47447 Moers, DE

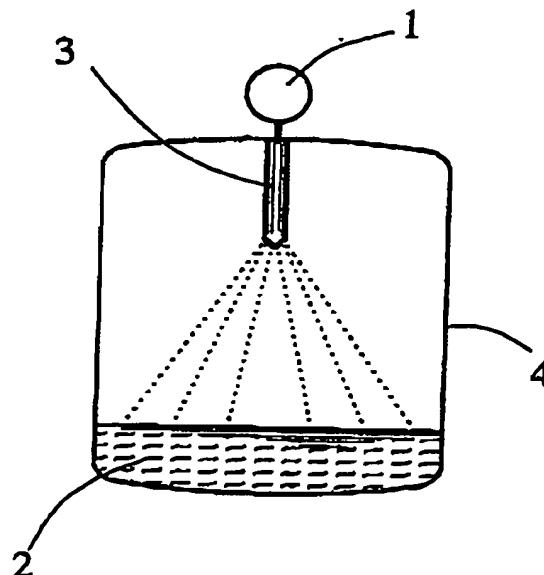
58 Entgegenhaltungen:

DE	43 27 333 A1
DE	42 33 324 A1
DD	1 50 939
EP	05 34 654 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Füllstandsmesser

57 Die Erfindung betrifft einen Füllstandsmesser, der nach dem Radarprinzip arbeitet, mit einem ein Mikrowellensignal erzeugenden Mikrowellengenerator, mit einer das Mikrowellensignal führenden und/oder abstrahlenden Sendeantenne, mit einer ein mindestens an einem Medium (2) reflektiertes Meßsignal empfangenden und/oder führenden Empfangsantenne und mit einem das Meßsignal über die Empfangsantenne detektierenden Mikrowellendetektor, wobei aus der für das Meßsignal ermittelten Laufzeit die Füllstandshöhe des Mediums (2) berechenbar ist. Der erfindungsgemäße Füllstandsmesser ist dadurch gekennzeichnet, daß die Sendeantenne und/oder die Empfangsantenne als vorzugsweise zylindrische Oberflächenwellenantenne ausgebildet ist bzw. sind.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 08. 98 602 040/97

6/27

DE 195 10 484 A 1

DE 195 10 484 A1

1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Füllstandsmesser, der nach dem Radarprinzip arbeitet, mit einem ein Mikrowellensignal erzeugenden Mikrowellengenerator, mit einer das Mikrowellensignal führenden und/oder abstrahlenden Sendeantenne, mit einer ein mindestens an einem Medium reflektiertes Meßsignal empfangenden und/oder führenden Empfangsantenne und mit einem das Meßsignal über die Empfangsantenne detektierenden Mikrowellendetektor, wobei aus der für das Meßsignal ermittelten Laufzeit die Füllstandshöhe des Mediums berechenbar ist.

Neben den bekannten mechanischen Füllstandsmessern, die nach dem Schwimmer- oder Tastplatten-Prinzip arbeiten, sind seit geraumer Zeit Füllstandsmesser bekannt, die darauf beruhen, daß ein Schwingungswellengenerator Schwingungswellen aussendet, daß ein Schwingungswellendetektor die an der Oberfläche eines in einem Behälter befindlichen Mediums reflektierten Schwingungswellen detektiert und daß aus der für die Schwingungswellen ermittelten Laufzeit die Füllstandshöhe des Mediums in dem Behälter berechnet wird (vgl. die DE-A-42 33 324, die DE-A-43 27 333 und die nachveröffentlichte DE-A-44 19462).

Füllstandsmesser der zuvor beschriebenen Art werden im allgemeinen als berührungslose Füllstandsmesser bezeichnet, da weder die Schwingungswellengeneratoren und die Schwingungswellendetektoren noch die Sendeantenne und die Empfangsantenne mit dem Medium in Berührung kommen. Dies ist zumindest in der Regel der Fall, wenn der Behälter nicht überbefeuchtet wird.

Sämtliche bekannten, in der Regel berührungslos arbeitenden Füllstandsmesser arbeiten mit von ihnen ausgesandten Schwingungswellen, die von der Oberfläche des Mediums, dessen Füllstand zu messen ist, reflektiert werden. Bei den bekannten Verfahren zur Bestimmung des Füllstands unterscheidet man zwischen solchen, die die Phasenverschiebung zwischen den ausgesandten und den detektierten Schwingungswellen messen, und solchen, die unmittelbar die Laufzeit der Schwingungswellen messen. Bei der Laufzeitmessung unterscheidet man im wesentlichen wiederum solche Füllstandsmesser, die die Laufzeit anhand von Schwingungswellen mit impulsmodulierten Amplituden messen, und solchen, die die Laufzeit anhand von frequenzmodulierten Schwingungswellen messen; letztere bezeichnet man auch als Füllstandsmesser, die nach dem FMCW-Verfahren arbeiten. Im weiteren wird — ohne Beschränkung hierauf — das Funktionsprinzip eines in der Regel berührungslosen Füllstandsmessers anhand eines Füllstandsmessers beschrieben, der nach dem Laufzeitprinzip arbeitet, also unmittelbar die Laufzeit der Schwingungswellen mißt.

Die hier interessierenden, in der Regel berührungslos arbeitenden Füllstandsmesser, die nach dem Radarprinzip arbeiten, verwenden üblicherweise als Sendeantennen bzw. Empfangsantennen Hornstrahler, Linsen, Parabolspiegel und ähnliches. Diesen gängigen Antennenformen sind verschiedene Probleme gemeinsam zu eigen. Ihnen allen ist beispielsweise gemeinsam, daß sie relativ große Abmessungen aufweisen. Dies führt zum einen dazu, daß sie innerhalb des Behälters für das Medium ein großes Volumen für sich beanspruchen, welches zumindest ohne zusätzliche Maßnahmen nicht mehr für das Medium nutzbar ist. Zum anderen führen die großen Abmessungen dazu, daß an dem Behälter ein großer Montageflansch erforderlich ist, um die Antenne

2

in dem Behälter montieren zu können. Ein weiteres Problem taucht in dem Augenblick auf, in dem der Behälter überbefeuchtet wird, so daß das Medium die Antenne berührt, was selbstverständlich durch die großen Abmessungen der Antenne eher einmal der Fall sein kann. Dies ist vor allem deshalb problematisch, da bei einer solchen Berührung zwischen der Antenne und dem Medium undefinierte Reflektionsverhältnisse auftreten. Außerdem ist bei den üblichen Antennenformen die Reinigung des Behälters aufgrund der Hohlräume innerhalb der Antenne erschwert.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, für Füllstandsmesser, die nach dem Radarprinzip arbeiten, eine verbesserte Antennenform zu schaffen.

Erfindungsgemäß ist die zuvor aufgezeigte und dargestellte Aufgabe dadurch gelöst, daß die Sendeantenne und/oder die Empfangsantenne als vorzugsweise zylindrische Oberflächenwellenantennen ausgebildet ist bzw. sind. Der entscheidende Vorteil von Oberflächenwellenantennen sind ihre geringen Abmessungen. Oberflächenwellenantennen basieren auf dem Prinzip, daß sich Felder längst der Grenzfläche zweier Medien unterschiedlicher Stoffkonstanten, zum Beispiel unterschiedlicher Dielektrizitätszahl, in der Form von Oberflächenwellen ausbreiten. Erstreckt sich die eine Oberflächenwelle führende Grenzfläche in der Ausbreitung ins Unendliche, so strahlt die Oberflächenwelle keine Energie ab. Eine Strahlung entsteht dann, wenn beispielsweise ein Oberflächenwellen führender Stab in seinen Querschnitt verändert ist. Insbesondere werden Oberflächenwellenantennen zylindrisch mit endlicher Länge ausgeführt, so daß sie also von ihrem Ende gerichtete Mikrowellenstrahlen abstrahlen. Durch ihre zylindrische Form weisen die Oberflächenwellenantennen nur geringe radiale Abmessungen auf. Es ist also insbesondere kein großer Montageflansch in dem Behälter zur Anbringung des Füllstandsmessers notwendig.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung erfahren die Sendeantenne und/oder die Empfangsantenne dadurch, daß sie als dielektrische Stabstrahler ausgebildet ist bzw. sind. Dielektrische Stabstrahler sind neben dielektrischen Mantelstrahlern und metallischen Rillenantennen ein besonderer Typ von Oberflächenwellenantennen. Für den Einsatz in einem Füllstandsmesser sind dielektrische Stabstrahler insbesondere deshalb geeignet, da sie einerseits keine Hohlräume haben und andererseits eine stark gerichtete Abstrahlcharakteristik aufweisen (vgl. Erich Pehl, Mikrowellentechnik, Band 2: Antennen und aktive Bauteile, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1984).

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung erfährt der erfindungsgemäße Füllstandsmesser dadurch, daß eine einzige Oberflächenwellenantenne gleichzeitig als Sendeantenne und als Empfangsantenne dient. Da beispielsweise ein dielektrischer Stabstrahler gleichzeitig als Sendeantenne und als Empfangsantenne dienen kann, ist durch diese Maßnahme gewährleistet, daß der Füllstandsmesser innerhalb des Behälters einen besonders geringeren Platzbedarf aufweist.

Eine besondere Eigenschaft von Oberflächenwellenantennen und insbesondere von dielektrischen Stabstrahlern ist es, daß, wenn der dielektrische Stabstrahler in das Medium eintaucht, eine Reflexion der Oberflächenwellen an der Staboberfläche dort auftritt, wo sich die Dielektrizitätszahl des umgebenden Mediums ändert, zum Beispiel an der Grenzschicht zwischen Medium und Atmosphäre, aber auch an den Grenzschichten zwischen zwei Medien unterschiedlicher Dielektrizitäts-

DE 195 10 484 A1

3

zahlen. Besonders vorteilhaft ist also die erfindungsgemäße Lehre dadurch weitergestaltet, daß die Sende- und Empfangsantenne zumindest teilweise in das Medium eintauchen. Hierdurch ist es möglich, daß nahezu die gesamte Höhe des Behälters für das Medium überwachbar ist. Dies ist bei den üblichen Antennenformen nicht oder nur sehr aufwendig möglich, da, wie eingangs geschildert, bei Berührung der üblichen Antennen mit dem Medium undefinierte Reflektionsverhältnisse auftreten.

Der im voranstehenden Absatz geschilderte Effekt läßt sich besonders vorteilhaft dadurch ausnutzen, daß sich die Sende- und Empfangsantenne zumindest annähernd über die gesamte Höhe eines das Medium speichernden Behälters erstreckt. Bei einer derartigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Füllstandsmessers werden über die gesamte Füllhöhe des das Medium speichernden Behälters die Reflektionen der Oberflächenwellen an sämtlichen Grenzschichten zwischen zwei Medien mit unterschiedlicher Dielektrizitätszahl ohne weiteres erfaßt.

Der erfindungsgemäße Füllstandsmesser ist besonders vorteilhaft dadurch ausgestaltet, daß der dielektrische Stabstrahler mit einer leitfähigen Beschichtung versehen ist. Dadurch, daß das Dielektrikum des dielektrischen Stabstrahlers oder die leitfähige Beschichtung des dielektrischen Stabstrahlers im wesentlichen einen Imaginärteil kleiner als $1/3$ des Realteils der komplexen Dielektrizitätszahl und im wesentlichen einen Oberflächenwiderstand von maximal $10^9 \Omega$ aufweist, ist gewährleistet, daß einerseits die Mikrowellenausbreitung nicht wesentlich beeinflußt oder gedämpft ist und daß andererseits elektrische Oberflächenladungen, die zum Beispiel zu Funken und damit zu Einschränkungen für den Einsatz des Füllstandsmessers in explosionsgefährdeten Bereichen führen können, verhindert werden.

Dadurch, daß bei einer bevorzugten Ausführungsform in der Sendeantenne und/oder in der Empfangsantenne ein gut leitfähiger Innenleiter angeordnet ist, ist gewährleistet, daß die Mikrowellen besonders vorteilhaft in die Oberflächenwellenantenne einkoppelbar und in ihr führbar sind. Dieser gut leitfähige, vorzugsweise metallische Innenleiter ist weiter besonders vorteilhaft dadurch nutzbar, daß er als zweite Elektrode eines kapazitiven Füllstandssensors dient. Durch diesen kapazitiven Füllstandssensor neben dem Füllstandsmesser, der nach dem Radarprinzip arbeitet, erhält man ein redundantes Meßsystem, das zum Beispiel als Überbefüllsicherung von Behältern verwendbar ist. Um eine Entkoppelung der Signale für die Messung nach dem Radarprinzip und die kapazitive Füllstandsmessung zu gewährleisten, wählt man unterschiedliche Frequenzbereiche für beide Messungen.

Dadurch, daß bei einer bevorzugten Ausführungsform eine die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Mikrowellen auf der Oberflächenwellenantenne, im Nahfeld der Oberflächenwellenantenne und im Fernfeld der Oberflächenwellenantenne korrigierende Auswerteschaltung vorgesehen ist, liefert der erfindungsgemäße Füllstandsmesser präzise Werte für die Füllstandshöhe innerhalb des das Medium speichernden Behälters.

Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, den erfindungsgemäßen Füllstandsmesser, der nach dem Radarprinzip arbeitet, auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird verwiesen einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche, andererseits auf die Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung.

4

In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Füllstandsmessers mit einem fast leeren, das Medium speichernden Behälter,

Fig. 2 das erste Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Füllstandsmessers mit einem fast vollen, das Medium speichernden Behälter,

Fig. 3 eine Darstellung des Sende- und Reflektionsverhaltens eines dielektrischen Stabstrahlers im nicht eingetauchten Zustand und des Zeitverhaltens des reflektierten Meßsignals,

Fig. 4 eine Darstellung des Sende- und Reflektionsverhaltens eines dielektrischen Stabstrahlers im eingetauchten Zustand und des Zeitverhaltens des reflektierten Meßsignals,

Fig. 5 ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Füllstandsmessers mit einer sich über die gesamte Höhe des das Medium speichernden Behälters erstreckenden Sende- und Empfangsantenne,

Fig. 6 ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Füllstandsmessers mit einem zusätzlichen kapazitiven Füllstandssensor und

Fig. 7 eine Darstellung des Laufzeitverhaltens des Meßsignals abhängig von dem Abstand zum Ansatz der Oberflächenwellenantenne.

In Fig. 1 der Zeichnung ist ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Füllstandsmessers, der nach dem Radarprinzip arbeitet, dargestellt. Der erfindungsgemäße Füllstandsmesser weist auf einen in einem Radarsystem 1 angeordneten, ein Mikrowellensignal erzeugenden Mikrowellengenerator, eine das Mikrowellensignal führende und abstrahlende und das an einem Medium 2 reflektierte Meßsignal empfangende und führende Sende- und Empfangsantenne 3 und einen in dem Radarsystem 1 angeordneten, das Meßsignal über die Sende- und Empfangsantenne 3 detektierenden Mikrowellendetektor. Die Füllstandshöhe des in Fig. 1 dargestellten einzigen Mediums 2 innerhalb eines Behälters 4 ist aus der für das Meßsignal ermittelten Laufzeit berechenbar. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Füllstandsmessers ist die Sende- und Empfangsantenne 3 erfindungsgemäß als zylindrische Oberflächenwellenantenne und insbesondere als dielektrischer Stabstrahler ausgebildet.

Im in Fig. 1 dargestellten Fall eines fast leeren Behälters 4 breiten sich die Oberflächenwellen entlang der zylindrischen Oberfläche der als dielektrischer Stabstrahler ausgebildeten Sende- und Empfangsantenne 3 ohne Reflektionsstellen aus und werden am Ende der Sende- und Empfangsantenne 3 in Folge der Querschnittsveränderung als Mikrowellen bzw. Radarstrahlen gerichtet in Richtung der Oberfläche des Mediums 2 im Behälter 4 abgestrahlt.

Bei dem in Fig. 2 der Zeichnung dargestellten fast vollen, das Medium 2 speichernden Behälter 4 taucht die Sende- und Empfangsantenne 3 teilweise in das Medium 2 ein. In diesem Fall werden die sich entlang der Oberfläche der Sende- und Empfangsantenne 3 ausbreitenden Oberflächenwellen von der Grenzschicht zwischen dem luft- bzw. gasgefüllten Volumen des Behälters 4 und dem mit dem Medium 2 gefüllten Volumen des Behälters 4 reflektiert. Es treten hier insbesondere nicht, wie bei den bekannten üblichen Antennenformen, undefinierte Reflektionsverhältnisse bei der Berührung zwischen der Sende- und Empfangsantenne 3 und dem Medium 2 auf.

In den Fig. 3 und 4 ist die in den Fig. 1 und 2 bereits dargestellte Situation mit einem dem entsprechenden

DE 195 10 484 A1

5

Verhalten des Meßsignals dargestellt. Hier wird noch einmal deutlich, daß die jeweilige Funktion der Sende- und Empfangsantenne 3 davon abhängig ist, wo sich das reflektierende Medium 2 befindet, ob es unterhalb des Endes des hier dargestellten dielektrischen Stabstrahlers endet oder ob der dielektrische Stabstrahler in das Medium 2 eintaucht. Die Bestimmung der Laufzeit des Meßsignals ist unabhängig davon, ob die Sende- und Empfangsantenne 3 in das Medium 2 eintaucht oder nicht.

Fig. 5 der Zeichnung zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Füllstandsmessers, der nach dem Radarprinzip arbeitet, bei dem sich die Sende- und Empfangsantenne 3 im wesentlichen über die gesamte Höhe des das Medium 2 speichernden Behälters 4 erstreckt. Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel ist also gewährleistet, daß nahezu ausschließlich reflektierte Oberflächenwellen als Meßsignale auftreten. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist gewährleistet, daß die bei dem ersten Ausführungsbeispiel durch die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Mikrowellen auf der Oberflächenwellenantenne, hier der Sende- und Empfangsantenne 3, im Nahfeld der Sende- und Empfangsantenne 3 und im Fernfeld der Sende- und Empfangsantenne 3, die in Fig. 7 anhand des Laufzeitverhaltens des Meßsignals abhängig von dem Abstand vom Ansatz der Sende- und Empfangsantenne 3 dargestellt sind, verursachten Meßungenauigkeiten nicht mit Hilfe einer zusätzlichen Auswerteschaltung korrigiert werden müssen.

Die Zeichnung zeigt weiter in Fig. 6 ein drittes Ausführungsbeispiel, bei dem in der Sende- und Empfangsantenne 3 ein gut leitfähiger Innenleiter 5 angeordnet ist, der vorzugsweise aus Metall besteht und zur Einkopplung bzw. Führung der von dem im Radarsystem 1 angeordneten Mikrowellengenerator erzeugten Mikrowellen dient.

Bei dem in Fig. 6 dargestellten dritten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Füllstandsmessers bildet der Innenleiter 5 gleichzeitig die zweite Elektrode eines kapazitiven Füllstandssensors 6. Hierdurch wird ein redundantes Meßsystem geschaffen, das beispielsweise als Überbefüllsicherung des Behälters 4 dient.

Patentansprüche

45

1. Füllstandsmesser, der nach dem Radarprinzip arbeitet, mit einem ein Mikrowellensignal erzeugenden Mikrowellengenerator, mit einer das Mikrowellensignal führenden und/oder abstrahlenden Sendeantenne, mit einer ein mindestens an einem Medium (2) reflektiertes Meßsignal empfangenden und/oder führenden Empfangsantenne und mit einem daß Meßsignal über die Empfangsantenne detektierenden Mikrowellendetektor, wobei aus der für das Meßsignal ermittelten Laufzeit die Füllstandshöhe des Mediums (2) berechenbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Sendeantenne und/oder die Empfangsantenne als vorzugsweise zylindrische Oberflächenwellenantenne ist bzw. sind.
2. Füllstandsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sendeantenne und/oder die Empfangsantenne als dielektrische Stabstrahler ausgebildet ist bzw. sind.
3. Füllstandsmesser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine einzige Oberflächenwellenantenne gleichzeitig als Sendeantenne und als Empfangsantenne dient.

6

4. Füllstandsmesser nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende- und Empfangsantenne (3) zumindest teilweise in das Medium (2) eintaucht.

5. Füllstandsmesser nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Sende- und Empfangsantenne (3) zumindest annähernd über die gesamte Höhe eines das Medium (2) speichernden Behälters (4) erstreckt.

6. Füllstandsmesser nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der dielektrische Stabstrahler mit einer leitfähigen Beschichtung versehen ist.

7. Füllstandsmesser nach Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum des dielektrischen Stabstrahlers oder die leitfähige Beschichtung des dielektrischen Stabstrahlers im wesentlichen einen Imaginärteil kleiner als 1/3 des Realteils der komplexen Dielektrizitätszahl und im wesentlichen einen Oberflächenwiderstand von maximal 10Ω aufweist.

8. Füllstandsmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in der Sendeantenne und/oder in der Empfangsantenne ein gut leitfähiger Innenleiter (5) angeordnet ist.

9. Füllstandsmesser nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der gut leitfähige Innenleiter (5) als zweite Elektrode eines kapazitiven Füllstandssensors (6) dient.

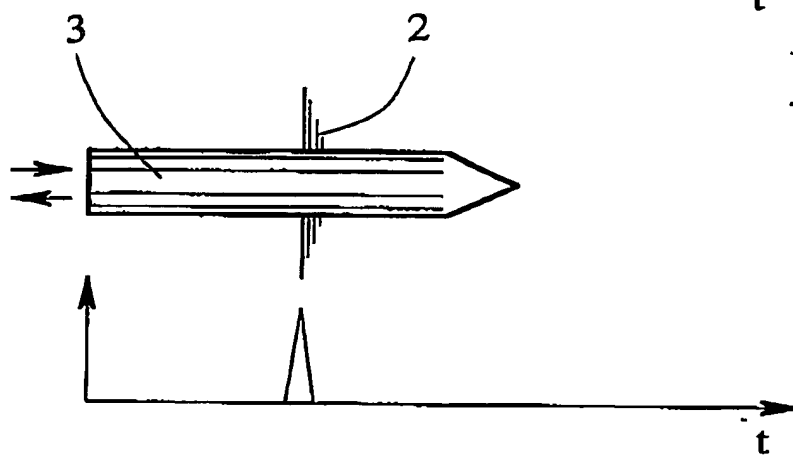
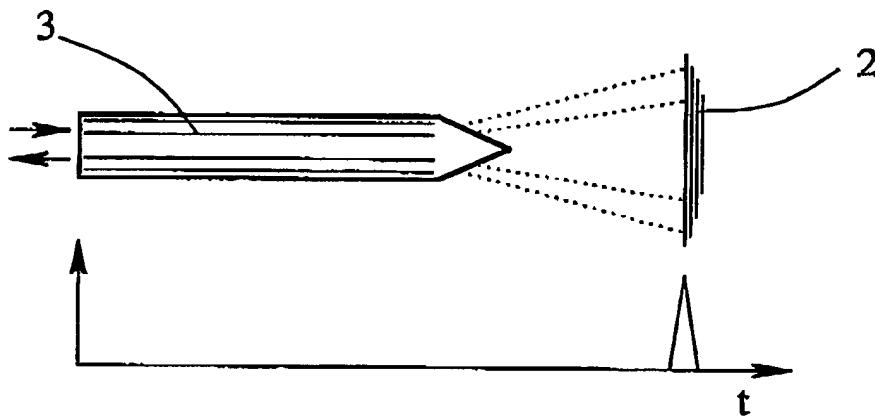
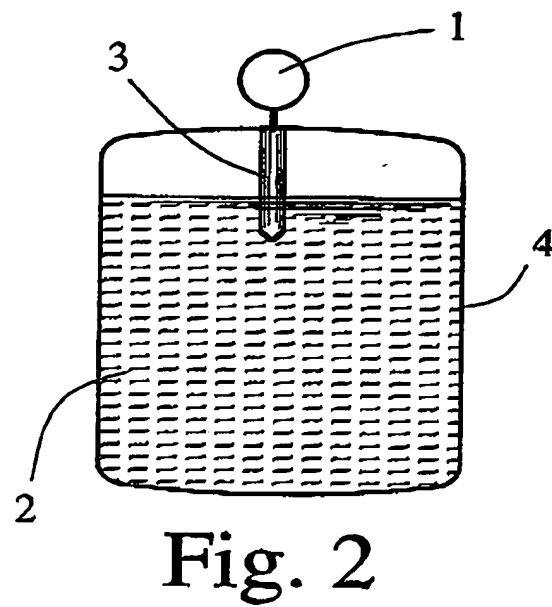
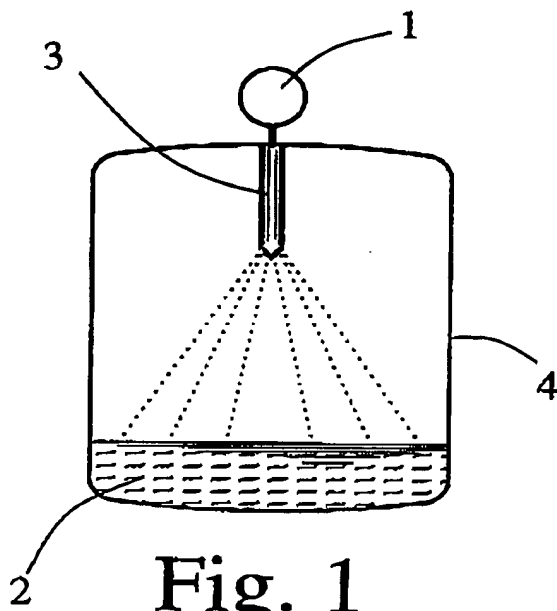
10. Füllstandsmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Mikrowellen auf der Oberflächenwellenantenne, im Nahfeld der Oberflächenwellenantenne und im Fernfeld der Oberflächenwellenantenne korrigierende Auswerteschaltung vorgesehen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:
Int. Cl. 8:
Offenlegungstag:

DE 195 10 484 A1
G 01 F 23/284
2. Oktober 1996



ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 195 10 484 A1

Int. Cl. 8:

G 01 F 23/284

Offenlegungstag:

2. Oktober 1998

